

[Date of requesting appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-313964

(43)公開日 平成6年(1994)11月8日

(51)Int.Cl.⁵

G 0 3 F 1/08

H 0 1 L 21/027

識別記号

A 7369-2H

7352-4M

7352-4M

7352-4M

F I

H 0 1 L 21/ 30

技術表示箇所

3 0 1 P

3 1 1 L

審査請求 未請求 請求項の数10 F D (全 18 頁)

(21)出願番号 特願平5-158189

(22)出願日 平成5年(1993)6月4日

(31)優先権主張番号 特願平5-62449

(32)優先日 平5(1993)3月1日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 為近 恵美

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 原田 勝征

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 堀内 敏行

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

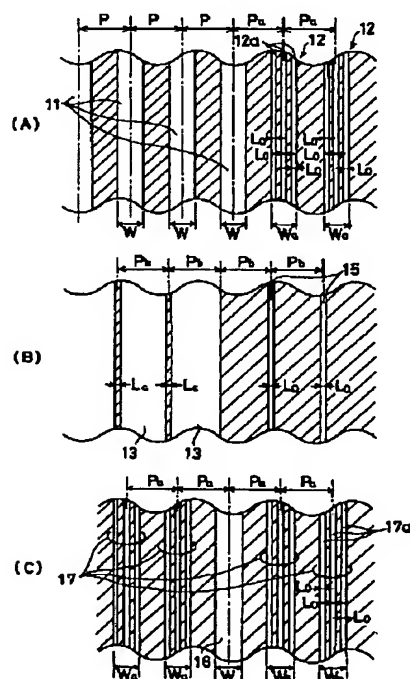
(74)代理人 弁理士 山川 政樹

(54)【発明の名称】 マスクおよびパタン形成方法

(57)【要約】

【目的】 斜入射照明方式を用いた投影露光によるパタン形成において、周期パタンの終端部や非周期パタンエッジ部に生じるパタン歪や位置ずれを除去または減少させ、併せてコントラストを向上させることにより、微細で精度の高いパタンを得る。

【構成】 少なくとも一箇所に透過率が0でなくかつ光透過部との位相差が0でない透過率と位相差を設定した半透過型位相シフトマスクを用い、かつこのマスクに目的とするパタン11以外に解像不能な補助パタン群12を設ける。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光源の主な部分を光軸からずれた位置に配置することにより解像度や焦点深度を向上させる斜入射照明方式に用いるマスクにおいて、このマスクは少なくとも一箇所に透過率が0でなくかつ光透過部との位相差が0でない透過率と位相差を設定した半透過型位相シフトマスクからなり、かつ目的とするパターン以外に解像不能な補助パターンを備えていることを特徴とするマスク。

【請求項2】 請求項1記載のマスクにおいて、目的とするパターンの配置が周期性を有する場合、その周期性を保存するように解像不能な補助パターンまたは補助パターン群を形成したことを特徴とするマスク。

【請求項3】 請求項1記載のマスクにおいて、目的とするパターンの配置に周期性がない場合、目的とするパターンに周期性を付与するように、解像不能な補助パターンまたは補助パターン群を形成したことを特徴とするマスク。

【請求項4】 請求項2記載のマスクにおいて、 λ を照明光の波長、NAを投影レンズの開口数とすると、光透過部（または透過率調整部）からなる目的とするパターンの幅が、 $\lambda / (2NA)$ 付近以上の場合、周期の終わるマスク透過部（または透過率調整部）エッジから $0.8 \times \lambda / (2NA) \sim 1.4 \times \lambda / (2NA)$ のピッチで光透過部（または透過率調整部）からなる解像不能な補助パターンを1つ以上形成したことを特徴とするマスク。

【請求項5】 請求項3記載のマスクにおいて、目的とするパターンが周期性のない孤立の光透過部からなるパターンで、かつその幅が $\lambda / (2NA)$ 付近以上の場合、片側または両側に、目的とするパターンエッジから $0.8 \times \lambda / (NA) \sim 1.2 \times \lambda / (NA)$ の距離において光透過部（または透過率調整部）からなる解像不能な補助パターンを1つ以上形成したことを特徴とするマスク。

【請求項6】 請求項1～5のうちのいずれか1つに記載のマスクを用いて目的とするパターンを形成することを特徴とするパターン形成方法。

【請求項7】 位相シフトマスクであって、透過部と、透過率が0より大きく前記透過部の透過率以下で前記透過部に対して0より大きい位相差を有する半透過部を少なくとも一箇所に有し、前記半透過部全体または一部に目的パターン以外の補助パターンを少なくとも一箇所有することを特徴とするマスク。

【請求項8】 請求項7記載のマスクにおいて、補助パターンが解像不能な線パターンであることを特徴とするマスク。

【請求項9】 請求項7記載のマスクにおいて、補助パターンが解像不能な市松模様あるいは格子パターンであることを特徴とするマスク。

【請求項10】 光源の主な部分を光軸からずれた位置に配置することにより解像度や焦点深度を向上させる斜入

射照明方式と上記請求項7～9のうちのいずれか1つに記載のマスクとを組合わせて目的とするパターンを形成することを特徴とするパターン形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、LSI等の微細パターンを投影光学系を用いてウエハなどの基板上に形成する斜入射照明方式を用いた投影露光法で使用するマスクおよびパターン形成方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来よりLSI等の微細パターンを形成するための投影露光装置には、高い解像力が要求され、最近では光の波長から決まる理論限界に近い解像度を有するまでに至っている。近年、LSIパターンのさらなる微細化に対応するため、マスク（レチクル）上の隣合う光透過部に 180° に近い位相差を設けることにより遮光部での光強度を0に近づけて解像度を向上させる位相シフト法が提案され、解像度向上が図られてきている。しかし、位相シフト法は、L&Sパターン（ラインアンドスペースパターン）のように隣合う光透過部で 180° の位相差を取れる周期性の高いパターンでは大きな微細化の効果が得られるのに対して、ランダムパターンではこの条件を満たすことが難しく、したがって効果も低下する。すなわち、パターンの種類や配置の仕方により解像性向上の効果が異なる。このため、位相シフト法は、効果的なシフト配置法を始め、欠陥のないシフト製作技術およびその検査、修正技術など多くの技術的困難性を有していること、これらによりマスク製作費が大幅に増加するなどの欠点があった。

【0003】 これに対して、特願平3-99822号

「微細パターン投影露光装置」は、マスクに入射する光を投影光学系の開口数に対応した角度だけ光軸から傾けて照射することにより位相シフト法と同等の解像性を実現した発明である。この方法は、従来マスクがそのまま使えるため、位相シフト法に比べて大きな利点を有している。マスク照明光を光軸から傾けて照明するため、特願平3-157401号「微細パターン投影露光方法」では、円環や4点、多点などの光源を発明し提供している。

【0004】 このような斜入射照明ではマスクパターンにより回折する回折光の片側だけを像形成に利用するため、両側回折光を用いる従来法に比べて、0次回折光が概略2倍となる。この余分の0次光はコントラストを低下させる要因となるため、特願平3-157401号

「微細パターン投影露光方法」では、マスクがない場合開口絞り位置に結像する光源形状に対応する部分およびその周辺に0次光調整フィルタを配置する方法を、また、特願平3-177816号「マスクとそれを用いた投影露光方法」では、マスクの遮光部が半透明でかつ、遮光部の透過光に透明部の透過光とおおよそ 180° の位相差

を持たせた0次光調整マスクによりそれぞれ0次光を調整しコントラストの向上を図っている。また加門らは第39回応用物理学関係連合講演会30a-NA-7で斜入射照明法とシフト遮光型位相シフトマスクと組み合わせとして同様にコントラスト向上効果があることを報告している。

【0005】先ず上述したこれまでの斜入射照明方式と従来照明方式において用いられる光源について説明する。図14は従来照明と種々の斜入射照明方式について代表的な光源形状と典型的な光学パラメータの一例を示したものである。図中斜線部は光源である。ここでは投影レンズの開口数(NA)で規格化した開口絞りの半径を1と置いた。従来照明法の円光源半径を σ とした。円環光源では円環中心までの半径をR、円環の幅を $2\sigma\Delta$ とした。4点光源では有限の大きさをもつ個々の点光源の中心までの距離をR、個々の点光源の直径を $2\sigma\Delta$ とした。

【0006】図15(a)、(b)、(c)は、斜入射照明法と組合わせて像コントラストを向上させる0次光調整マスクを説明するものである。図中1はマスク基板、2は光透過部、3は透過率調整位相シフト部(通常マスクの遮光部に相当)である。0次光調整マスクは、従来のマスクにおいて遮光する部分3を半透過膜としてその透過率をコントラストを向上させるように調整(典型的な振幅透過率は $t=0.35$ (強度透過率約12%)付近であるが、もっとも効果的な透過率は光源形状やパターン形状等によって異なる。)し、かつ半透過部3を通過した光と透過部分2を通過してきた光との位相差が 180° に近くなるように調整したものである。斜入

パターンの寸法やマスク内の距離の単位・・・ $U=\lambda/2(NA)$

デフォーカス量の単位・・・ $Z=\lambda/2(NA)^2$

また、それぞれの光学系に対して図3に併記したパラメータを標準値として用いた。また、光強度分布におけるデフォーカス量は、Zの0、1、1.5および2倍の4水準とした。

【0008】以上説明したハーフトーン型位相シフトマスクや0次光調整マスクによる露光では何れも半透過部に光が透過する。したがって、透過率や露光強度などによっては本来露光するべきでない領域が露光されてしまい、現像の強さによってはこの露光による不要なパターンがレジスト(感光材)上に転写されてしまうという問題点があった。また、この問題点を言い換えれば、この不要パターンを転写しないためには現像条件に対する余裕度が非常に小さくなるということにもなる。

【0009】次に、斜入射照明方式と0次光調整マスクを組合わせた露光法についてパターン歪などの問題点の所在を従来照明法と比較しながら説明する。図16

(A)、(B)、(C)、(D)は、典型的な周期パターンについて、(E)、(F)は、周期性のないパターンについての露光強度のプロファイルのシミュレーション結

射照明とこの0次光調整マスクを組合わせて使用することにより像コントラストが向上し、結果として解像度や焦点深度がさらに向上する。また、0次光調整マスクでは、通常の光源に対していわゆる位相シフトマスクとして使用する場合に比べて、位相ずれに対する許容度が大きく広い範囲の位相差で効果を得ることができる。ここでは、その使用目的のためにこのマスクを0次光調整マスクと呼んでいるが、一般にシフト遮光型またはハーフトーン型と呼ばれる位相シフトマスクでも、遮光部が半透明であり位相差があれば、同様の効果をもたらすことができる。したがって、これから説明する欠点も同様に現れ、本発明の効果も同様に得られるので、これら斜入射照明法と組合わせて同様の効果をもたらすマスクを総称して0次光調整マスクと呼び、従来照明と組合わせた場合はハーフトーン型位相シフトマスクと呼ぶことにする。また、どちらの場合も本来の遮光部が半透明になっているので、この部分を一般の光透過部と遮光部と区別して半透過部と呼ぶことにする。

【0007】以上説明した斜入射照明方式と0次光調整マスクとを組合わせた露光方法では、いずれも隣合うパターン間に斜めからの照射により位相差を与え、位相シフト法と同様の解像度向上の効果を得るものであることから、周期性の高いパターンでは高い解像度が得られるが、周期性の低いランダムパターンや周期パターンの周期が終わる端部、周期性のない孤立パターンや大パターンでは解像度が低下したり、結像パターンが歪んだりする問題がある。この問題点について詳述するため、以下の説明ではパターンの寸法やマスク内の距離およびデフォーカス量について次のように規格化したUおよびZの単位を用いた。

果を示したものである。周期パターンは16本の無限長ラインからなるL&Sパターン(ライン・アンド・スペースパターン)で、ラインおよびスペースいずれも幅がUである。横軸はUの単位で表したマスク内の距離、縦軸は露光強度である。パターンエッジの設計値はUの単位で4から3.5まで、デフォーカス量はZの0、1、1.5および2倍の4水準に対してそれぞれ実線、短い実線、長い破線および一点鎖線で示してある。(A)、(C)、(E)は従来照明と従来マスクを用いた従来法の場合で、(B)、(D)、(F)は斜入射照明方式と0次光調整マスクを組合わせた露光法を用いた場合である。

【0010】通常の現像では露光強度が0.3レベル付近でパターンが形成される。したがって、露光強度プロファイルが露光強度0.3のレベルと交わる点と設計エッジとの横方向のずれ量が小さい、すなわちパターン歪が小さいことと、このずれ量の小さい領域が上下でどれ位あるかの現像マージンが大きいこと、さらに、デフォーカス量が大きくなってもこのマージンが小さくならないことが重要である。図16(A)と(B)を比較すると、

従来照明方法はデフォーカス量が大きくなるにつれ解像度が低下して現像マージンが小さくなり、パタン形成が困難であることを示している。これに対して、0次光調整マスク方式は、デフォーカス量が大きくなっても良好な解像性を示し、大きな焦点深度でパタン形成が可能であることがわかる。しかし、16本のパタンの露光強度プロファイルと比較すると、従来照明法では全パタンにわたって略等しいのに対して、0次光調整マスク方式は特に周期パタン端部で露光強度の変化が大きい。これらは実際のパタン形成でパタン幅が中央部と端部で異なったり、デフォーカス時に端のパタンが形成されないなどの結果となって現れる。(C)、(D)は(A)、

(B)の一部分の拡大図である。0次光調整マスク方式では右端のパタンでデフォーカスによる露光強度プロファイルの迫り出しが顕著である。これは実際のパタン形成でパタンエッジの位置ずれやパタン形状の歪となって現れると共に、現像がゆらげば大きな寸法変動となることを意味している。

【0011】図16(E)、(F)の非周期性パタンはUの単位で4と16に設計エッジをもつ無限長パタンである。デフォーカス条件は周期パタンと同じである。従来照明法による露光強度プロファイル(E)では規格化露光強度0.3と設計エッジの交点でデフォーカスによるずれはほとんどないのに対して、0次光調整マスク方式(F)では、デフォーカス量が大きくなるにつれて位置ずれが大きくなっている。これは実際のパタン形成で、パタンの細り(ポジ形レジストの場合)や太り(ネガ形レジストの場合)となって現れる。

【0012】以下斜入射照明法と組み合わせた0次光調整マスクを用いた露光法について上に指摘した半透過部過剰光透過の問題について、問題点の所在を従来マスクを用いた場合と比較しながら説明する。図17(A)、

(B)は光透過部が孤立線の同一パタンについて、X軸上の光強度分布をシミュレーションしたものである。3本の線は実線がフォーカス時で、その他の2本が順次フォーカス量を増やした場合である。光源は輪帯の斜入射照明で、(A)は従来のCeマスク、(B)は強度透過率12%の0次調整マスクを用いた場合である。通常の工程でこのような露光強度分布で露光されたレジストを現像する場合、光強度がおよそ0.3をしきい値として、それ以上露光された部分が溶解(ポジレジストの場合)する。その際レジストの性質や厚さ、現像条件(現像液の強さや現像時間)によって必ずしもこの値が0.3に固定されるわけではなく、また露光部と未露光部の光強度の差が大きいほど現像後のパタン形状断面は長方形に近く、望ましい形状となる。(A)に示されるように従来のマスクで露光した場合は、孤立線以外の部分が遮光部であるため、周囲の光強度はほぼ0に等しい。このため周辺部分は感光することなく、レジスト現像後には(ポジ型レジストの場合)パタン部のみに溝ができ周

辺部はレジストがそのまま残ることにより、パタン形成される。一方、(B)の0次光調整マスクを用いた場合は、パタンの周辺部に12%の透過率が与えられているため、露光強度分布にもその影響が現れ、周辺部での光強度が0.1を越えている。このため場合によってはこの部分が感光してしまい、現像後にはパタン部の溝以外に周辺部のレジストが掘れてしまうか、あるいは膜減りしてしまう。また通常、レジストでのパタン形成においては、露光部と未露光部との光強度のコントラストを最大強度 I_{max} と最小強度 I_{min} として用いて

$$MTF = (I_{max} - I_{min}) / (I_{max} + I_{min})$$

で表し、コントラストが高いほど現像条件に余裕度があり、パタン形成に有利であることを示す。図17の場合、(A)では $I_{min} \approx 0$ なので100%近いコントラストとなるが、(B)では I_{min} を周辺部のもっとも高いところにとればコントラストはおおよそ50%程度しかない。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】以上説明したように、斜入射照明方式では周期性のないパタンや周期性パタンの周期が終わる部分について、露光強度の不揃いや露光強度プロファイルの変形が起こり、これがパタンの歪や位置ずれとなり、精度を低下させるという欠点があった。また、ハーフトーン型位相シフトマスクや斜入射照明法における0次光調整マスクでは、半透過部に光が透過するためレジストパタン形成の際の現像裕度が小さく、非パタン部の膜減りが生じ易いという欠点があった。

【0014】本発明は上記したような従来の問題点に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、斜入射照明方式を用いた投影露光によるパタン形成において、周期パタンの終端部や非周期パタンエッジ部に生じるパタン歪や位置ずれを除去または減少させ、併せてコントラストを向上させることにより、微細で精度の高いパタンを得ることができるようにしたマスクおよびパタン形成方法を提供することにある。また本発明は、半透過部を有するマスクを用いたパタン形成において、その効果を損なわずに半透過部に対応する領域のウエハ面上での光強度を抑えることができ、コントラストの高い精密なパタンを得ることができるようにしたマスクおよびパタン形成方法を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、第1の本発明は、光源の主な部分を光軸からずれた位置に配置することにより解像度や焦点深度を向上させる斜入射照明方式に用いるマスクにおいて、このマスクは少なくとも一箇所に透過率が0でなくかつ光透過部との位相差が0でない透過率と位相差を設定した半透過型位相シフトマスクからなり、かつ目的とするパタン以外

に解像不能な補助パターンを備えているものである。第2の発明は、第1の発明において、目的とするパタンの配置が周期性を有する場合、その周期性を保存するように解像不能な補助パターンまたは補助パターン群を形成したものである。第3の発明は、第1の発明において、目的とするパタンの配置に周期性がない場合、目的とするパターンに周期性を付与するように、解像不能な補助パターンまたは補助パターン群を形成したものである。第4の発明は、第2の発明において、 λ を照明光の波長、NAを投影レンズの開口数とすると、光透過部（または透過率調整部）からなる目的とするパタンの幅が、 $\lambda/(2NA)$ 付近以上の場合、周期の終わるマスク透過部（または透過率調整部）エッジから $0.8 \times \lambda/(2NA) \sim 1.4 \times \lambda/(2NA)$ のピッチで光透過部（または透過率調整部）からなる解像不能な補助パターンを1つ以上形成したものである。第5の発明は、第3の発明において、目的とするパターンが周期性のない孤立の光透過部からなるパターンで、かつその幅が $\lambda/(2NA)$ 付近以上の場合、片側または両側に、目的とするパターンエッジから $0.8 \times \lambda/(NA) \sim 1.2 \times \lambda/(NA)$ の距離において光透過部（または透過率調整部）からなる解像不能な補助パターンを1つ以上形成したものである。第6の発明は、上記第1～第5のうちのいずれか1つの発明に係るマスクを用いて目的とするパターンを形成するものである。第7の発明は、位相シフトマスクであって、透過部と透過率が0より大きく、前記透過部の透過率以下で前記透過部に対して0より大きい位相差を有する半透過部を少なくとも一箇所に有し、前記半透過部全体または一部に目的パターン以外の補助パターンを少なくとも一箇所有するものである。第8の発明は、第6の発明において、補助パターンが解像不能な線パターンである。第9の発明は、第7の発明において補助パターンが解像不能な市松模様あるいは格子パターンである。第10の発明は、光源の主な部分を光軸からずれた位置に配置することにより解像度や焦点深度を向上させる斜入射照明方式と上記第7～第9の発明のうちのいずれか1つに記載のマスクとを組合わせて目的とするパターンを形成するものである。

【0016】

【作用】解像不能な補助パターンにより目的パタンの周期性が助長される、または周期性が付与されることにより、結像パターン露光強度プロファイルの歪が低減し、コントラスト向上が図られる。これにより、より微細で、精度の高いパターン形成が可能となる。半透過型シフトマスクは、半透過部に解像不能な補助パターンを配置している。補助パターンによる半透過部の光強度抑制は、半透過領域内に解像不能なパターン寸法を有する微細パターンを配置することにより、レチクル回折光の回折角を大きくしてこの部分の光が結像面に到達しないようにする。

【0017】

【実施例】以下、本発明を図面に示す実施例に基づいて

詳細に説明する。図1は本発明による補助パターン群または補助パタンの基本配置を示す図で、(A)は周期パターン、(B)は大面積パタンの端部、(C)は孤立線パターンに対する補助パターン配置例である。(A)において、11は光透過部からなる目的パターン、12は本発明による光透過部からなる補助パターン群、12aは補助パターン群12を構成する補助パターンである。例えば目的パターン11が光透過部の場合は白抜き部分が光透過部を、ハッチング部分が透過率調整半透過部を表すが、光透過部と半透過部が逆の場合も同様の補助パターンが効果を示す。周期性の終わる端部に補助パターン12aからなる補助パターン群12を配置し、周期性が継続する条件を作り出すことにより、斜入射照明方式の周期終端部に現れる露光強度プロファイルの歪を低減させるものである。この場合、補助パターン12aは目的パターン11の周期性が端部でも持続するように配置することと、現像後にパターンとして残らない、解像不能な補助パターン12aまたは補助パターン群12であることの両立が必要である。前者に対しては、補助パターン12aの幅 L_o がなるべく大きく、補助パターン群12の幅 W_a の中にできるだけ多くの補助パターン12aを配置するほうが大きな効果が得られる。しかし、後者に対しては、逆に L_o がなるべく小さく、補助パターン12aの数が少ないほうが現像マージンが大きくなることから、最適化する必要がある。また、図16(B)から分かるように、特に、周期端部から1つ目と2つ目のパタンの露光強度が大きな影響を受けていることから、補助パターン群12の数は2つ程度が最適であるが、1つでも3つでも本発明による効果は得られる。また、補助パターン群12の中の補助パターン12aの数も1つ以上であれば、本発明による効果が発揮できる。大面積パターンや孤立線パターンのように周期性のないパターンにおいては、新たに周期性を付与することにより、コントラスト向上効果が現れる。したがって、図1(B)のように大面積パターン端部の両側に周期的パターン群を位置するとよい。なお、13は目的パターン、14は遮光部からなる補助パターン、15は光透過部からなる補助パターンである。この場合の周期は、露光光に固有な周期である λ/NA が効果的であり、この周期を付与するという意味で特に端から1本目の補助パターン14、15までの距離は、 $P_b - L_o/2$ が $1U = \lambda/(2NA)$ 以上で、かつ $P_b + L_o/2$ が $2U = \lambda/NA$ 以下とした場合に効果が高い。ここでは、両側に1本の補助パターン14、15からなる補助パターン群を2つずつ配置する例を示したが、この補助パターン群は数本から構成することもでき、補助パターン群自体の数も1つ以上であればよく、また片側だけに補助パターンを配置する方法によっても効果が得られる。孤立線パタンの場合も同様に周期性を付与するような補助パターンをした例を図1(C)に示す。16は透過型孤立パターンからなる目的パターン、17は補助パターン群、17aは光透過部からなる補助パターン

である。補助パタン17aの配置周期 P_a は λ/NA に近い値とすれば効果的である。但し、透過部と遮光部は逆であってもよい。

【0018】図2(A)は図1(A)からなる本発明を適用した例である。図16(A)、(B)と同様の $L=1 \times U$ のL&Sパタンの両端に $P_a=2 \times U$ 、 $L_o=0.3 \times U$ の補助パタン2本からなる補助パタン群を2つつ配置したもので、0次光調整マスク方式(振幅透過率 $t=0.35$ 、位相差 180°)による露光強度プロファイルを示す。補助パタン26(図1の補助パタン12aに相当)の所在を明らかにするために、図の上部に遮光部27(図1のハッチング部)を黒で示した(以下補助パタンを含む露光強度プロファイル図には図5を除いて全てこの表示を入れる)。なお、25(図1の11に相当)は光透過部からなる目的パタンである。図2(B)は比較のために示した本発明を適用しない場合の0次光調整マスク方式による露光強度プロファイルである。両者の比較から、周期の端部における露光強度不揃いの改善と、特に最端パタンの露光強度プロファイルの迫り出しが殆どなくなっていることがわかる。また、補助パタン群26による露光強度は0.2以下であることから、現像後、補助パタン群26はパタンとなつて残ることはない。なお、デフォーカス量の表示は図16と同じである。

【0019】次に、図1(A)の基本配置を変形または応用した実施例について説明する。図3(A)は目的とする周期パタンが光透過調整部分(通常マスクにおける遮光部、以後便宜上遮光部と呼ぶ)からなる場合の補助パタン配置例を示すもので、図1(A)と同様の遮光部からなる目的パタン18に対して遮光部からなる補助パタン19が1本からなる補助パタン群を配置した例、(B)は図1(B)と同様の光透過部からなる目的パタン20に対して片側のみに光透過部からなる補助パタン21を配置した例、(C)は光透過部からなる孤立パタンを目的パタン22とする場合に1本からなる光透過部からなる補助パタン23を配置した例を示すものである。この場合、どれも周期端部に、遮光部からなる補助パタンまたは補助パタン群を配置することにより、図1(A)と同様の効果を得ることができる。

【0020】図4(A)は図3(A)の実施例で、図2と同様、 $L=1 \times U$ の寸法の5本の線からなる無限長のL&Sパタン25の右側に $L_c=0.2 \times U$ の遮光部からなる補助パタン(26a)1本を、同じく左側に $L_c=0.3 \times U$ からなる補助パタン(26b)1本をそれぞれ配置した場合の0次光調整マスク方式による露光強度プロファイルである。図4(B)は比較のため、同じパタンで本発明による補助パタンを適用しない例を示した。現像後パタンが形成される露光強度0.3の付近に着目すると、本発明を適用しない場合、デフォーカス量が増すにしたがってパタンエッジが内側へ迫り出して

る現象が顕著であるが、本発明の適用により、これが改善されることがわかる。また、遮光(透過率調整)補助パタン26a、26bによる露光強度の低下はあるが、パタン形成される露光強度の0.3より大きいので現像後はパタンとして残ることはない。また左右の比較から補助パタン26a、26bが細い方が強度の低下は少ないことがわかる。なお、デフォーカス量の表示は図16と同じである。

【0021】図5は図1(A)の基本配置の変形で、補助パタン群および補助パタン群の中の補助パタンの数が1つの場合である。5本の無限長L&Sの両端に $L_o=0.3 \times U$ からなる補助パタン1つを S_a を $0.5 \times U$ から $1.5 \times U$ まで変えて配置した場合の0次光調整マスク方式による露光強度が示してある。(A)は補助パタンのない場合で、露光強度の不揃いと、両端のパタンの外側で露光強度プロファイルの迫り出しが見られる。

(B)~(F)を比較すると、 $S_a=1 \times U$ の(D)で矯正効果が最も大きい。(D)では、各パタンの露光強度が略等しく、特に、両端のパタンのコントラストが改善され、露光強度プロファイルの迫り出しが減少している。これは目的パタンのパタン端と補助パタンとの間隔 S_a が目的パタン同士の間隔(周期 P の $1/2$)に等しくなっており、目的パタンの周期性を保とうとする位置であることがわかる。また(C)と(E)でも、比較的良好な効果を示していることから、補助パタンの位置に最適値はあるもののその近傍でも本発明の効果があることがわかる。本発明における補助パタン配置では、目的パタンの周期性を保つように配置することが効果的であるが、その方法としては図1(A)のように W_a が目的パタン幅 W に等しいかまたは近い補助パタン群によってそれを保つ場合のほか、図3(A)のように補助パタン1本からなる補助パタン群によって保とうとする場合もある。後者の場合では、必ずしもそのピッチが目的パタンと等しいまたは近い必要はなく、それよりも目的パタン端からの距離 S_a が目的パタンのパタン間隔に近いことが重要で、これを S ($S_a=S-L_o/2$)で表現すると $S=W$ から $S=2W$ の範囲で本発明の効果が認められる。

【0022】図6(A)は本発明を大面積パタンに適用した場合の一例の光強度分布図である。横軸上4から16の間に光透過部からなる目的パタン25がある。図1(B)では、目的パタンの内部と外部の両方に補助パタン26を施す例を示したが、ここでは図3(B)のように外部のみに施す例を示す。どちらを選ぶかは効果の大小の他に、露光量マージンの問題があるので、レジストの性質などの条件により、効果的なものを選択すればよい。図5(B)には比較のため同様の大面積パタンに本発明を適用しない場合の0次光調整マスク方式による露光強度プロファイルを示した。本発明により露光強度0.3付近でデフォーカス増加による露光強度プロファ

イルの迫り出しが抑えられ、エッジ位置ずれが低減されている。本発明の基本配置ルールでは、元々周期性のないパタンの場合には露光光のもつ固有の周期として $2U = \lambda / NA$ が効果的であり、したがって図1(B)のような配置となるが、変形応用例として図6(A)の場合のように大面積パタンエッジからの間隔がUに近いものであれば、本発明の効果が得られる。この場合3本の補助パタン26からなる補助パタン群を配置しているが、これが1本以上であれば効果は略同じである。なお、デフォーカス量の表示は図16と同じである。

【0023】図7は目的パタン25が光透過孤立パタンの場合の0次光調整マスク方式の露光強度プロファイルで、補助パタン26が2本からなる補助パタン群を施した場合で、図1(C)の実施例である。(A)には本発明からなる補助パタン26を配置した場合、(B)には比較のために補助パタンを配置しない場合を示した。目的パタン幅1Uの光透過孤立線パタン25に対して

(A)では露光光固有の周期である2Uの周期性を持たせるために目的パタンの端から1U離れた処に光透過補助パタン2本からなる補助パタン群26を配置した。

(B)に比べて、ピーク強度が高く、デフォーカス時の露光強度プロファイルの迫り出しが抑えられ、コントラストが著しく向上していることがわかる。現像点を強度0.3としてその時の強度プロファイルの傾きをLOG-SLOPE値で比較すると、フォーカス時には(B)1.28から(A)では2.33へ、デフォーカスが2.0×Zの時は0.22から1.15へと向上している。なお、デフォーカス量の表示は図16と同じである。

【0024】図8は目的パタンが遮光孤立パタンの場合の0次光調整マスク方式の露光強度プロファイルで、補助パタンが両側1本ずつの図3(C)の実施例にあたる。(A)には本発明からなる補助パタンを配置した場合、(B)には比較のために補助パタンを配置しない場合を示した。目的パタン幅1Uの遮光(透過率調整)孤立線パタン25に対して(A)では目的パタン端から1U離れたところに遮光補助パタン26を1本配置した。これにより露光強度0.3付近でデフォーカス増加による露光強度プロファイルの内側への迫り出しが抑えられ、コントラストが向上していることがわかる。この例のように背景部分(目的パタンに対して背景となる他の部分)が透過部28の場合は、透過部28に遮光補助パタン(半透過位相反転補助パタン)を多く配置すると本来光が透過すべき部分の露光強度が下がってしまうので、補助パタン26はあくまでも多く配置することではできない。両側1本ずつ程度が適している。なお、デフォーカス量の表示は図16と同じである。

【0025】次に、本発明を2次元適パタンに実施した場合について説明する。図9および図10は本発明による遮光用補助パタンおよび遮光帯の配置例である。マスク

のパタン配置図では全てパタン部が光透過部、パタン以外の地の部分が半透過部(通常遮光部に相当する)とする。

【0026】図9はマスクパタンの一部について2次元的な配置例を示し、31はホールパタンに相当する目的パタン、32、33は線の目的パタンで、34は線形状の補助パタン、35は市松格子の補助パタン、36は破線やドットパタン、格子、斜め線など他の形状の補助パタンである。(A)は半透過部遮光のために線パタンからなる補助パタンのみを用いた例、(B)は線パタンと市松格子パタンを併用した例、(C)は様々な遮光用補助パタンとした場合について個々のパタンの周辺部を抜き出して1次元的な配置をより詳細に説明する図である。

【0027】図10(A)、(B)は孤立ラインの周辺部に他のパタンが存在しない場合の遮光用補助パタン配置例で、41は孤立線の目的パタン、42はL/Sの目的パタン、43はそれぞれの補助パタンである。(A)では干渉による目的パタンのエッジ部での強度プロファイルをよくするために補助パタン群に周期性を持たせてある。(B)では単純に線パタンを敷き詰めた例である。図では線と間隔の等しい場合を示したが、必ずしもその必要はない。線パタンの幅が太くなり過ぎると線パタンが解像してしまうので、線パタンはある程度微細な寸法である必要があるが、間隔の広さは遮光効果が得られる程度あればよいので、通常はマスク製作の容易さを考えて、線パタンに比べて間隔が広い方が都合がよい。例えば、光源の波長365nmでNA=0.6の場合の数値例を挙げると、線パタンの幅0.1μmに対して間隔0.3μmで線パタンが解像せず、遮光効果がある。この数値は一例であり、これより間隔が広くても効果がある。解像可能な線パタンの幅は、光学系や露光現象条件によっても異なるが、上記の例では現実的なパタン幅は、0.1μm~0.2μm程度である。また、間隔については線幅と加えたピッチが λ / NA (上記例では0.5μm)以下が効果的である。(C)はL/S(ライン/スペースパタン)パタンの両側に空き領域がある場合は、より多くの補助パタンを配置する方がよい。その場合、(A)のように途中の間隔を空けて配置しても(B)のように等間隔で配置してもよい。但し、図10の全ての場合について、目的パタン42の近傍では図にSaで示したようなスペースを空ける方がよい。これは、目的パタン42にあまり近接して補助パタン43を配置すると、そのスペースの解像が困難になるためである。目的パタン42のコントラストを高めるためにもある程度のスペースは必要で、Saの最適値はパタン幅などにもよるがおよそ0.4λ/NA程度(上記例では0.24μm)である。

【0028】次に上記したような遮光用補助パタンを用いた効果をシミュレーション結果の図により説明する。

図11は目的パタン(光透過部)が寸法 $0.5\lambda/\text{NA}$ の5本線からなる L/S の場合の露光強度分布である。横軸は λ/NA で規格化した距離で、縦軸は露光強度、図中4本の線はフォーカス位置を変えた場合に相当する。デフォーカス量は $\lambda/2\text{NA}^2$ で規格化した値 z で示すと、実線はフォーカス時で $z=0$ 、以下点線、破線、一点鎖線の順に $z=1, 1.5, 2$ の場合を示す。

(A)は輪帯型斜入射照明に本発明からなる遮光型補助パタンを配置した0次光調整マスクを用いた場合で、図10(A)の補助パタン群と同様に L/S の両端からそれぞれスペース $S_a=0.5\lambda/\text{NA}$ を空けて、幅 $0.15\lambda/\text{NA}$ の補助パタン、 $0.2\lambda/\text{NA}$ スペース、 $0.15\lambda/\text{NA}$ 補助パタン、 $0.5\lambda/\text{NA}$ のスペース、 $0.15\lambda/\text{NA}$ の補助パタン、 $0.2\lambda/\text{NA}$ のスペース、 $0.15\lambda/\text{NA}$ の補助パタンの順で配置した例である。(B)は輪帯型斜入射照明に補助パタンのない0次光調整マスクを用いた場合、(C)は通常照明に従来の C_r マスクを用いた場合である。(C)ではデフォーカス時にパタンが解像しなくなるのに対して、

(B)では斜入射照明を用いると同じ寸法のパタンが解像するようになるが、0次光調整マスクの半透過部で最大 0.15 程度の光強度があり、転写可能性がある。これに対して(A)では遮光用補助パタンにより、透過部の露光強度が 0.1 以下に抑えられており、スペース S_a があるために端のパタンのコントラストも改善されている。これらにより、半透過部が転写されることなく精度のよいパタンが比較的現像裕度をもって形成できる。

【0029】次に孤立パタンの場合について図12図および図13を用いて説明する。図12は斜入射照明法に0次光調整マスクを用いた場合の、図13は通常照明にハーフトーン型位相シフトマスクを用いた場合の $0.5\lambda/\text{NA}$ の太さの孤立線パタン(ポジレジストでは孤立スペースに相当)に対する露光強度分布を表す。実線はフォーカス時($z=0$)、短い破線はおよそ $z=0.75$ 、長い破線は $z=1.5$ を表す。(波長 365nm 、 $\text{NA}=0.52$ の時、デフォーカス量 $0, 0.5, 1.0\mu\text{m}$ に相当する。)

【0030】図12(A)は0次光調整マスクをそのまま用いた場合、(B)はこれに対して遮光用補助パタンを配置したい場合である。パタン配置は、目的パタン $0.5\lambda/\text{NA}$ に対して、スペース $S_a=0.36\lambda/\text{NA}$ 、補助パタン幅 $0.14\lambda/\text{NA}$ 、その隣も同じくスペースを $0.36\lambda/\text{NA}$ づつ空けて幅 $0.14\lambda/\text{NA}$ の補助パタンを3本づつ配置した場合である。

(A)ではパタン周辺部の光強度が下がり、全般にコントラストが向上している。この図では補助パタンが3本づつなので、その外側に再び光強度が上がっているが、周囲のパタンの状態に応じて補助パタンをさらに配置すれば、このような光過剰部分はなくすことができる。

【0031】図13(A)はハーフトーン型位相シフト

マスクをそのまま用いた場合、(B)はそれに遮光用補助パタンを配置した場合で、パタン配置は図12と同様である。この図(A)のように通常照明の場合には目的パタンエッジでの位相変化の影響が大きいので、パタンエッジで一旦鋭く強度が下がるが、その外側で比較的大きな2次ピークが生じる。この光強度ピークは斜入射照明の場合よりも大きく 0.2 を越える値となるので、このピークが転写される可能性は高く、現像に対する余裕度は更に厳しくなると考えられる。これに対して(B)では、この2次ピークが大幅に抑制され、デフォーカス時でも 0.1 以下に抑えられており、周辺部感光の可能性はほとんどないと言える。

【0032】ここでは遮光用パタンとして全て単純な線パタンの場合を示したが、図9に示したように2次元的な配置を考えるときは必ずしも単純な線パタンだけではなく、多角形や格子状の遮光パタン等を用いることもできる。格子状パタンは線パタン同様そのパタン寸法を微細にすることにより、解像不能となり遮光部の役目をする。

【0033】これまで、パタン部が光透過部で周辺部が半透過部の場合について述べてきたが、逆に周辺部が光透過部でパタン部が半透過部の場合には、周辺光透過部に遮光用補助パタンを配置する必要はないが、パタン部の面積が広い場合にはパタン部内にこれまで述べたような遮光用補助パタンを配置して半透過部の露光強度を低減させることも可能である。

【0034】従来技術の項で説明したように、従来の半透過型位相シフトマスクは、光透過部とそれよりも低い透過率を有する半透過部とからなり、その半透過部は通常マスクにおける遮光部と一致するため、半透過部の結像面上での露光強度はレジストが感光しない程度に低い必要があった。このため通常、半透過部の透過率は 20% 以下に設定されていた。しかし、本発明による遮光用補助パタンを用いる場合は半透過部の透過率が大きくても解像不能な補助パタンによる遮光効果は同様に得られるので、必ずしも半透過部の透過率が小さい必要はない。便宜上半透過部と呼んでいるが、透過部と同じ透過率を持っていてもよいことになる。その場合にもパタンの近傍には位相シフトの効果を高める S_a のスペースが必要で、配置も図9や図10に示したものと同様となる。

【0035】また、ここでは通常照明と輪帯斜入射照明の場合を説明したが、本発明は4点照明等の斜入射照明法に対しても同様に適用できる。以上説明したように、本発明は円環照明や4点照明などのいわゆる変形光源を用いる斜入射照明法と0次光調整マスク方式を組合わせた露光法および、通常照明とハーフトーン型位相シフトマスクを組合わせた露光法において効果を発揮するものである。

【0036】

【発明の効果】本発明に係るマスクおよびパターン形成方法は斜入射照明方式と0次光調整マスクを組合わせた方法による投影露光で用いるマスクに関して、斜入射照明方式ではパタンの周期性が高い程、高い解像度が得られることに着目し、目的とするパタンの周期性がくずれる周期端部で周期性が保持されるように、また、目的とするパタンに周期性がない場合に周期性を付与するように、目的とするパタンの周辺または内部に解像不能な寸法を有する補助パタンを形成したので、その結果としてパタン形成精度を向上させることができる。また、補助パタンまたは補助パタン群が残存してもLSI等の性能や機能に支障がない場合は上述したLoやLcを大きくして高い効果を得ることが可能である。

【0037】さらに、本発明は半透過側位相シフトマスクを用いた露光において生ずる半透過部における露光過剰の問題に対して、解像不能な補助マスクを配置することにより、この問題を解決するものである。半透過部における露光過剰があると、レジスト上に不要なパタンが転写される可能性があり、現像裕度が小さくなる。これに対して本発明におけるマスクを用いて露光すると、現像裕度を大きくとりつつ精度のよいパタンが形成でき

【図面の簡単な説明】

【図1】(A)、(B)、(C)は、本発明による補助パタン群または補助パタンの基本配置例を示す図で、

(A)は目的パタンが周期性を有する場合(L&Sパタン)、(B)は目的パタンが非周期性の場合(大面積パタンの端部)、(C)は目的パタンが非周期性の孤立パタンの場合である。

【図2】(A)は周期パタンに本発明を適用した実施例、(B)は比較のため示した同一パタンで本発明を適用しない場合である。

【図3】本発明による補助パタン群または補助パタンの応用配置例を示すもので、(A)は周期性を有する場合(L&Sパタン)、(B)は非周期性の場合(大面積パタンの端部)、(C)は非周期性の孤立パタンの場合である。

【図4】(A)は周期パタンに本発明を適用した実施例、(B)は比較のため示した同一パタンで本発明を適用しない場合である。

【図5】(B)～(F)は本発明による補助パタン群配置である図2(A)を用いた実施例で、(A)は比較のため示した同一パタンで本発明を適用しない場合である。

【図6】(A)は、大面積パタンに対する実施例、

(B)は比較のため示した同一パタンで本発明を適用しない場合である。

【図7】(A)は、目的パタンが非周期性で孤立パタンの場合の本発明による補助パタン配置である図1(C)を適用した実施例、(B)は比較のため示した同一パ

ンで本発明を適用しない場合である。

【図8】(A)は図8と白黒反転した孤立パタンの場合の本発明の実施例、(B)は比較のため示した同一パタンで本発明を適用しない場合である。

【図9】(A)は遮光用補助パタンとして主に線パタンを用いた配置例、(B)は遮光用補助パタンとして線パタンと市松格子パタンとを組合わせて用いた配置例、

(C)は遮光用補助パタンとして様々なパタンを用いた配置例である。

【図10】(A)は遮孤立パタンに対する配置例

(1)、(B)は孤立パタンに対する配置例(2)、

(C)はL/Sパタンに対する配置例である。

【図11】L/Sパタンへの本発明の適用例の露光強度分布で、(A)は斜入射照明+0次光調整マスクに本発明の補助パタンを配置した場合、(B)は同じく斜入射照明+0次光調整マスクに本発明の補助パタンを配置した場合、(C)は従来照明法で通常(Cr)マスクを用いた場合である。

【図12】斜入射照明+0次光調整マスクを用いた孤立線パタンに対する露光強度分布で、(A)は補助パタンを配置しない場合、(B)は補助パタンを配置した場合である。

【図13】通常照明+ハーフトーン型位相シフトマスクを用いた孤立線パタンに対する露光強度分布で、(A)は補助パタンを配置しない場合、(B)は補助パタンを配置した場合である。

【図14】本発明の説明に用いる従来照明法および種々の斜入射照明方式における光源形状と開口絞り部での透過率配置を示した図である。

【図15】本発明に用いる0次光調整マスク方式を説明する図である。

【図16】従来技術の問題点を説明した露光強度分布図(シミュレーション)で、(A)は従来法(L&Sパタン)、(B)は0次光調整マスク方式を用いた斜入射照明法(L&Sパタン)、(C)は従来照明法:L&Sパタン(A)の拡大図、(D)は0次光調整マスク方式を用いた斜入射照明法:L&Sパタン(B)の拡大図、

(E)は従来照明法(大面積パタン)、(F)は0次光調整マスク方式を用いた斜入射照明法(大面積パタン)

である。

【図17】(A)は斜入射照明で通常マスクを用いた孤立線パタンに対する露光強度分布、(B)は斜入射照明で0次光調整マスクを用いた孤立線パタンに対する露光強度分布である。

【符号の説明】

11 目的パタン

12 補助パタン群

12a 補助パタン

13 目的パタン

14 補助パタン

10

20

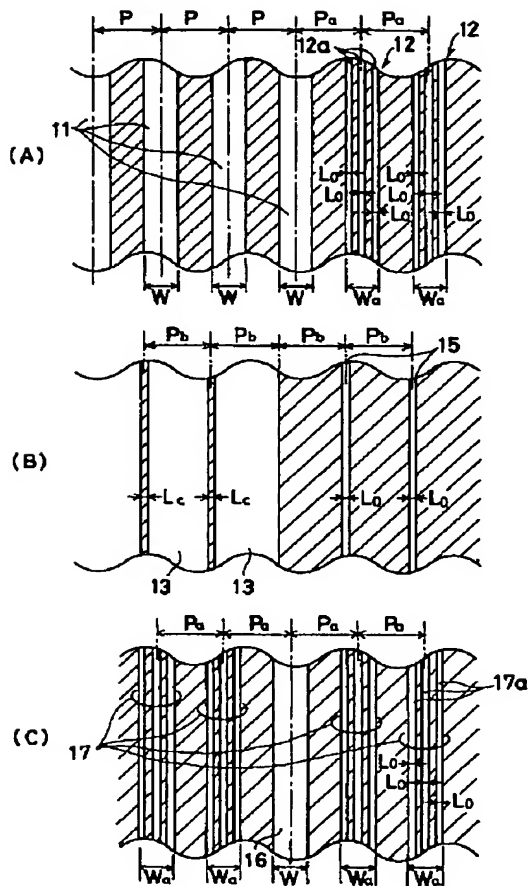
30

40

50

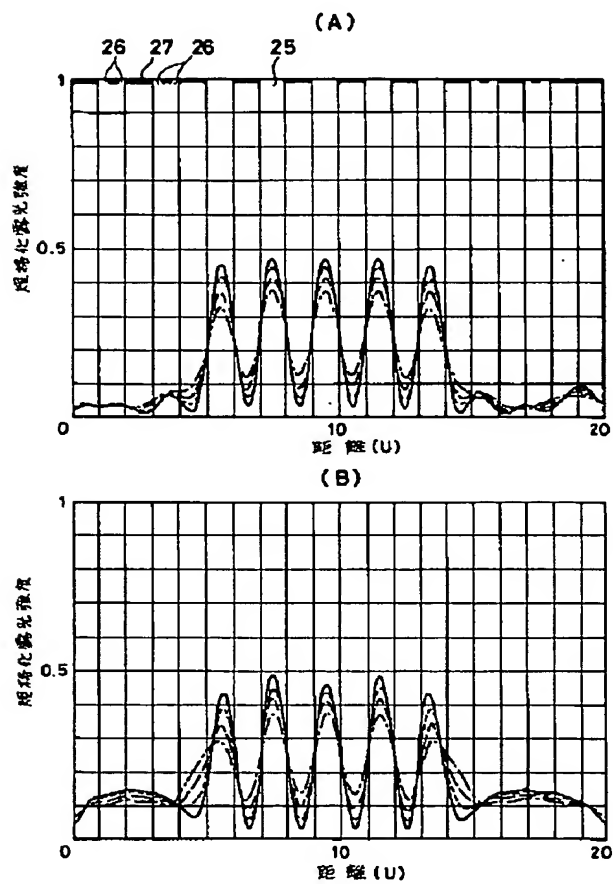
- 15 補助パタン
- 16 目的パタン
- 17 補助パタン群
- 17a 補助パタン
- 25 目的パタン
- 26 補助パタン (群)

【図1】

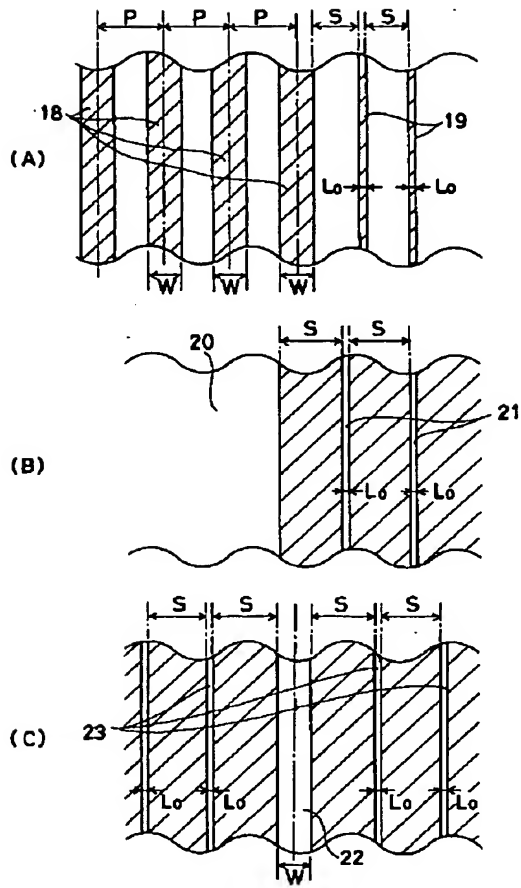


- 31 ホールパタン
- 32, 33 目的パタン
- 34 補助パタン
- 35 市松格子状のパタン
- 36 その他の補助パタン

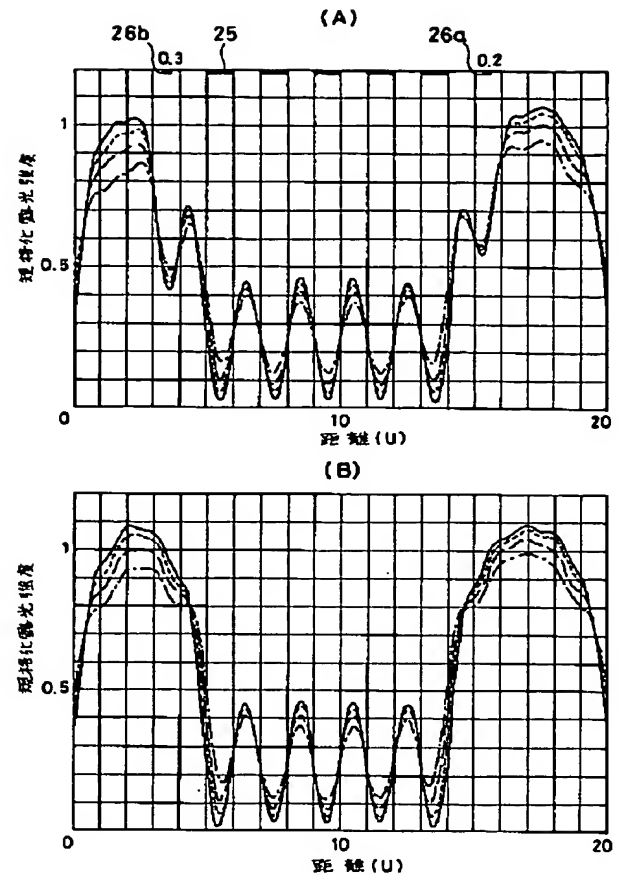
【図2】



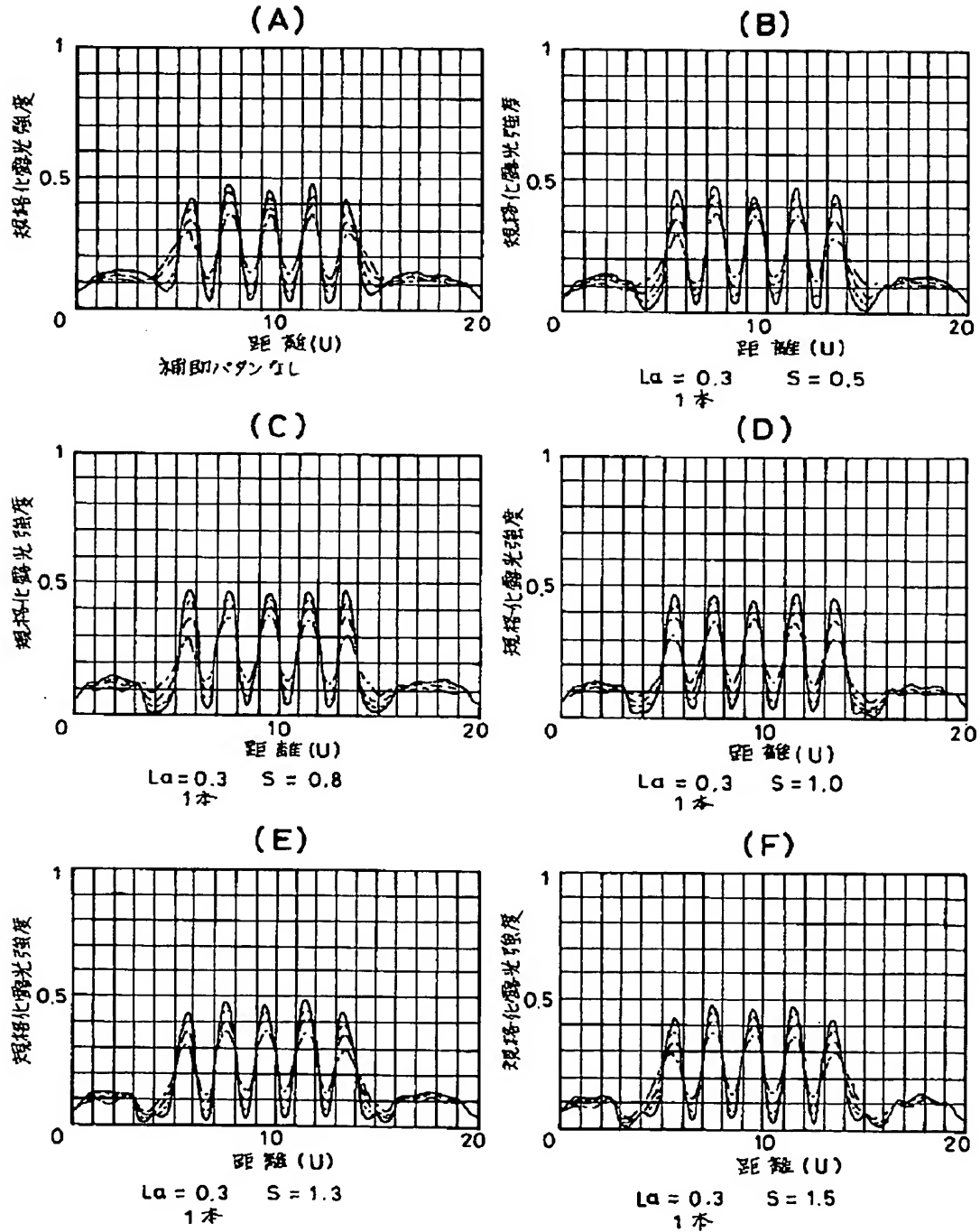
【図3】



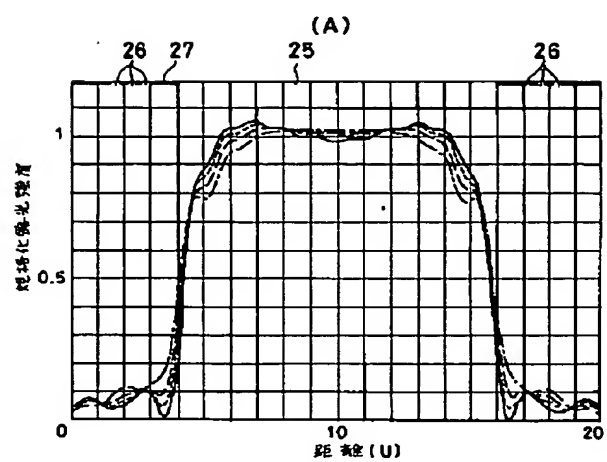
【図4】



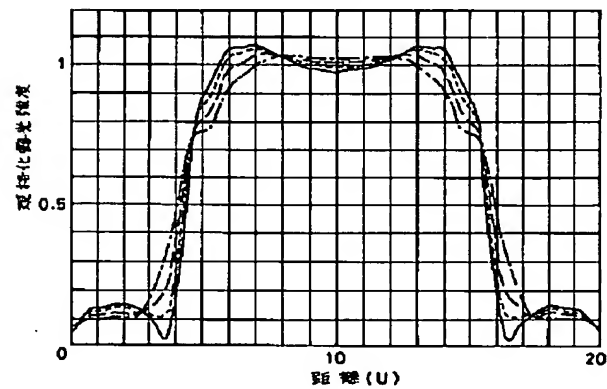
【図5】

5本 L/S $W=1U$ 

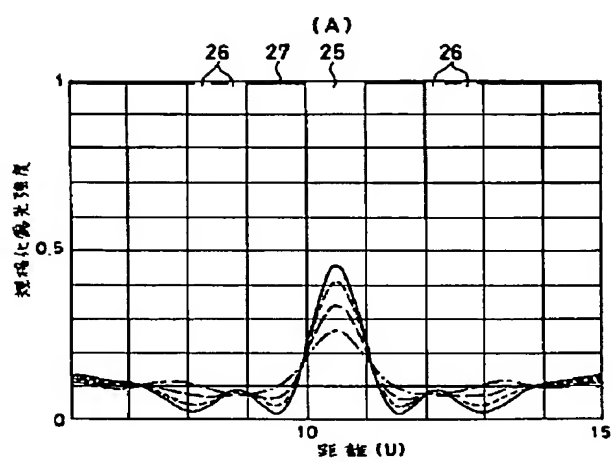
【図6】



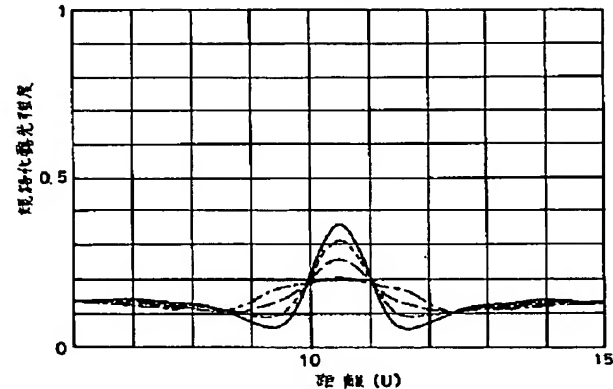
(B)



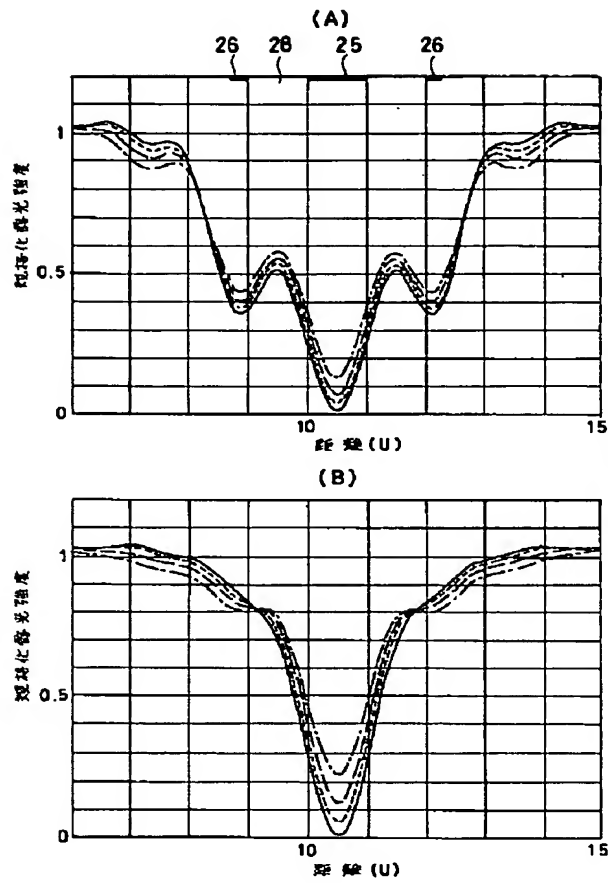
【図7】



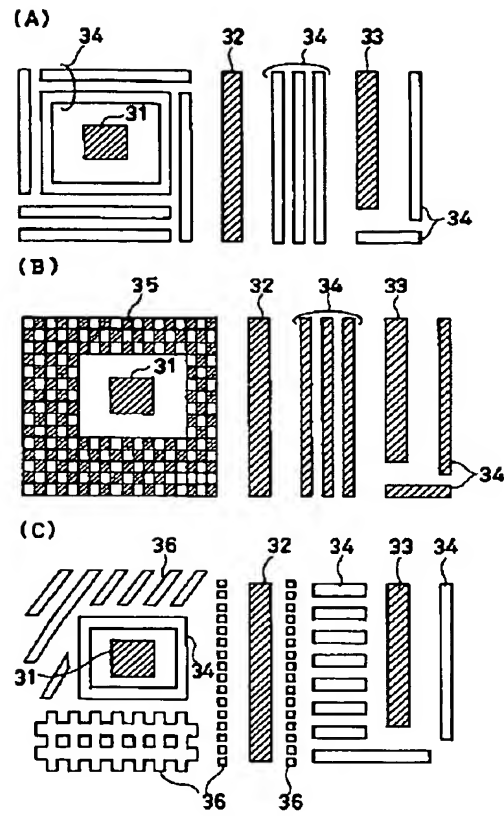
(B)



【図8】



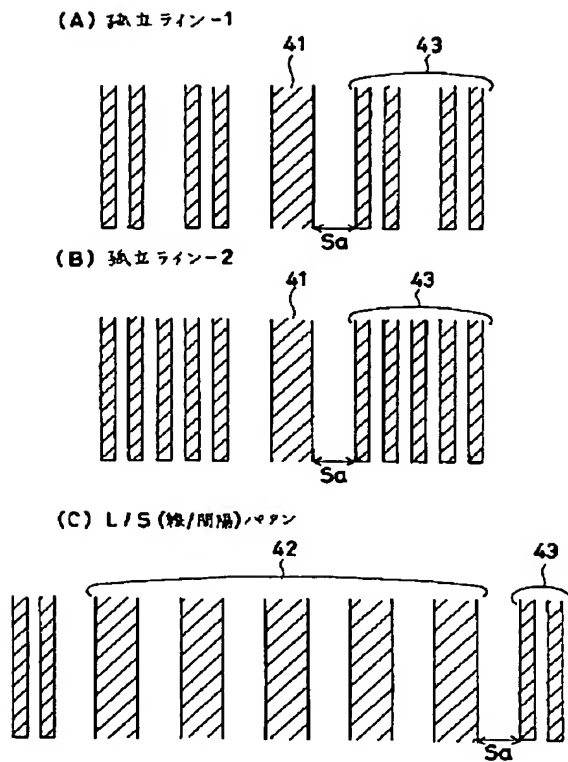
【図9】



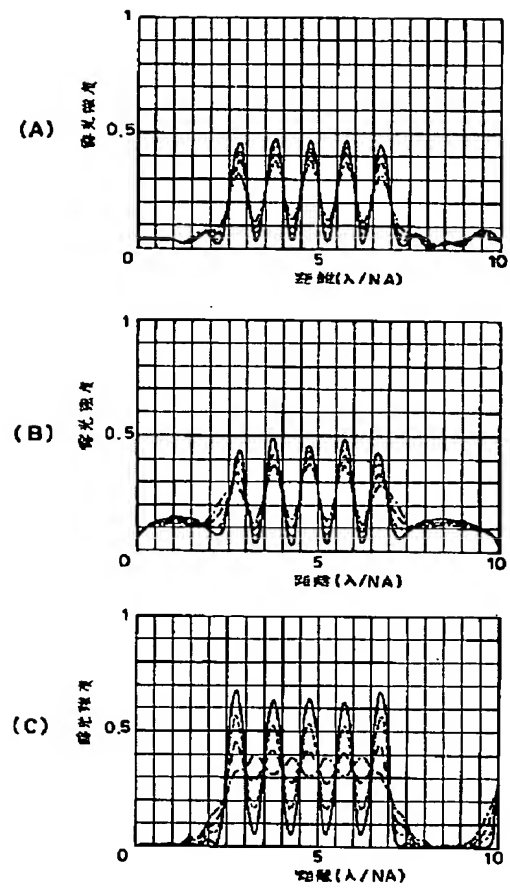
【図14】

| 光学系 | 光源形状 | 標準パラメータ |
|-------|------|--------------------------------------|
| 従来法 | | $\sigma = 0.5$ |
| 内環照明法 | | $R = 0.7$ $\sigma_{\Delta} = 0.1$ |
| 4点照明法 | | $R = 0.7$ $\sigma_{\Delta} = 0.1$ |

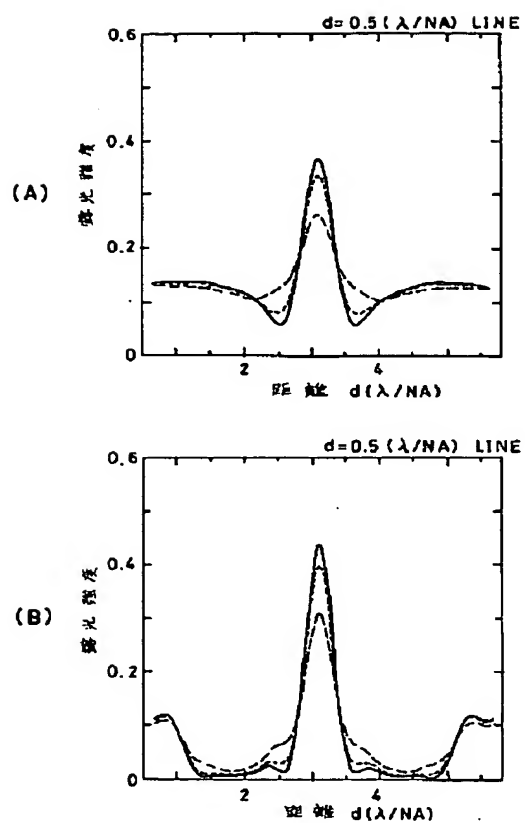
【図10】



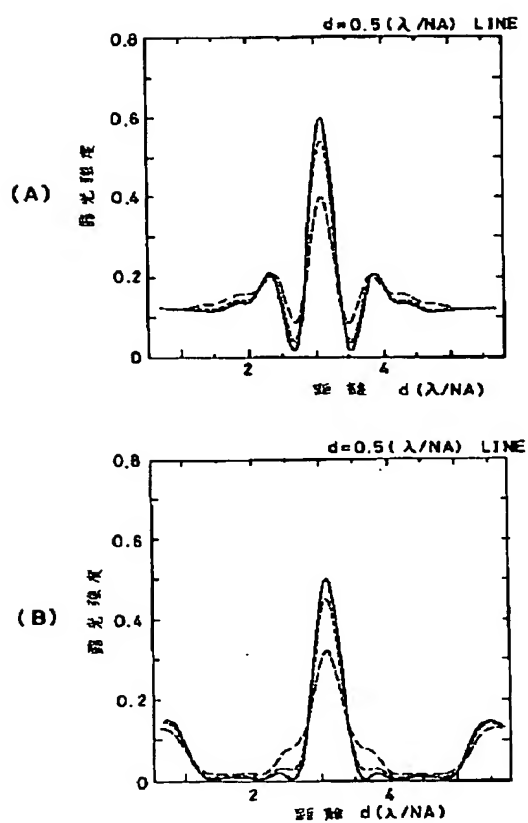
【図11】



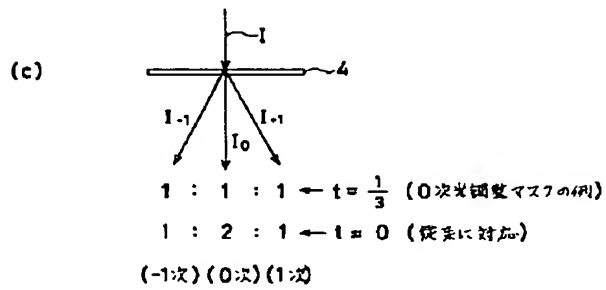
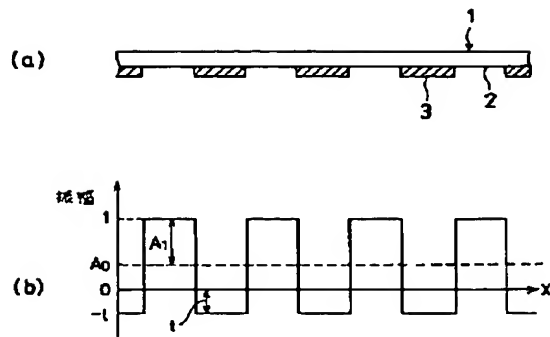
【図12】



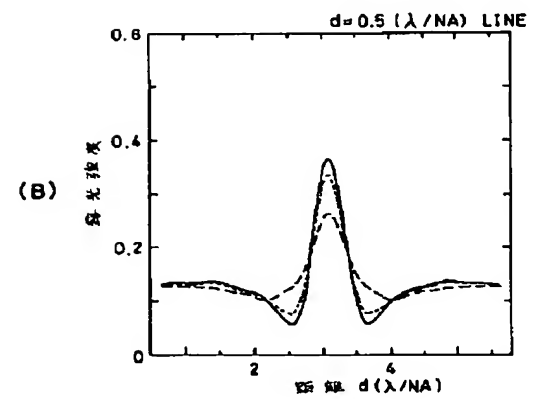
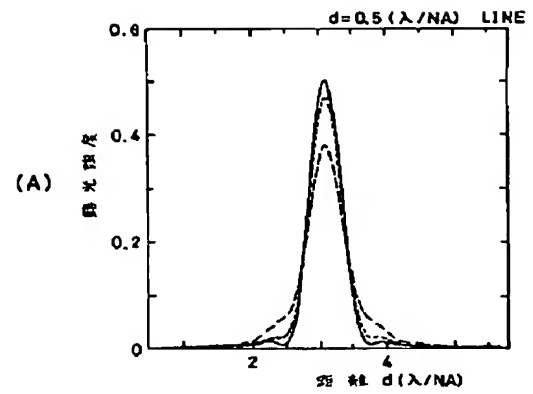
【図13】



【図15】



【図17】



【図16】

